

Monitorização Contínua da Qualidade do Ar Vs. Consumos Energéticos Associados e Benefícios

GT3 – Gabinete Técnico de Engenharia

Rui Manuel Alves Gonçalves

070504089

Dissertação do MIEM

Orientador na GT3 – Gabinete Técnico de Engenharia: Engenheiro Nuno Parreira

Orientador na FEUP: Professor Clito Afonso



FEUP

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Fevereiro de 2014

Para ti que sempre me apoiaste

Resumo

O principal objectivo desta dissertação é o de realizar uma análise das vantagens e poupanças obtidas e associadas à regulação de caudais de ventilação de ar novo por monitorização contínua dos níveis de CO ambiente interiores versus aplicação direta dos caudais de ar novo mínimos regulamentares (de acordo com o decreto de lei 79/2006).

Com a eficiência e redução de custos energéticos a serem cada vez mais procurados, existe uma demanda constante pela optimização das instalações de ventilação, custos operacionais e suas performances reais.

Na instalação em análise, são comparados dois modos distintos de manutenção de uma elevada qualidade de ar interior:

- ⊕ monitorização contínua por sensores de CO₂, implicando taxas de renovação horárias variáveis de acordo com a degradação da qualidade de ar interior;
- ⊕ aplicação direta dos caudais de ar novo regulamentares a insuflar no espaço durante o horário de abertura ao público.

São claramente visíveis as vantagens do sistema de controlo de ventilação por monitorização contínua da qualidade do ar interior pois em ciclos diários permite uma clara diminuição das horas de operação dos equipamentos e seus componentes, nomeadamente das UTA's.

Foi também analisada a nível ecológico, a redução das emissões de dióxido de carbono para a atmosfera quando na instalação em questão se opta pelo sistema de monitorização contínua da qualidade do ar.

Continuous Monitoring of Air Quality Vs Energy Consumption and Associated Benefits

The main objective of this thesis is to analyse the advantages and savings obtained and associated with the demand controlled ventilation by monitoring CO₂ levels vs the use of continuous ventilation according to the portuguese legislation 70/2006 from the 4th of May.

With the efficiency and cuts in energy bills beeing even more importante, ther is a demand for optimization of the HVAC instalations, their operation costs and real perfonmances.

In the air handling system in analisys, there are two diferente methodes of high air quality maintenance that are beeing compared:

- ⊕ a contínuos monitoring by CO₂ sensors, which will keep the system working only when the air quality is not between what is prograded
- ⊕ a direct use of the required air flow rate that is mentioned in the law according with the portuguese legislation, during the building Schedule

There are clearly visible the advantages of the demand controlled ventilation system, because it allows a reduction of the working hours of the system.

Also analysed was the ecological side of the objective of this thesis. It was analysed the amount of CO₂ that is not thrown into the atmosphere because of the lower working hours of the system.

Agradecimentos

Em primeiro lugar quero agradecer à minha família pelo apoio e educação dados, e que me permitem ter atingido o patamar onde estou hoje. O vosso apoio e incentivo foi essencial para a minha formação como pessoa e como estudante e futuro Engenheiro.

Quero expressar o meu profundo agradecimento ao Engenheiro Nuno Parreira, por me ter aceitado no seio da sua empresa e por me ter proporcionado a excelente oportunidade de ter um contacto com o mundo do trabalho. Agradeço a disponibilidade e paciência por ele demonstrada. Sem ele não seria possível a concretização desta dissertação. Quero agradecer também aos Engenheiros Hugo Sousa e João Castro também pelo seu apoio e por se terem mostrado prestáveis e sempre dispostos a ajudar.

Quero também expressar o meu agradecimento Professor Clito Afonso por me ter aceitado como seu orientando, e por se ter mostrado sempre disponível. Foi também fundamental para a realização desta dissertação, e agradeço por ter aceitado este desafio.

Agradeço também a todos os meus amigos que ao longo da minha vida se cruzaram comigo e contribuíram para fazer de mim a pessoa que sou. Um obrigado também ao pessoal do 29C, com quem tantas noites de estudo e trabalho partilhei e que me ajudaram incondicionalmente no meu percurso académico. Rui, Rafa, Luís, muito obrigado pela vossa ajuda, principalmente na reta final do curso. Agradeço também em especial aos meus amigos que me ajudaram e me acompanharam durante estes anos em que andei na FEUP.

Um agradecimento especial também aos Professoras desta faculdade, pelo nível de exigência e de conhecimento imposto e por me terem preparado, para após este ciclo, seguir uma vida profissional que espero ser de sucesso.

Finalmente, quero agradecer à minha namorada Sofia. Só te posso oferecer o meu mais profundo agradecimento pelo teu apoio, pela tua ajuda, e pela tua paciência. Por me teres ajudado a manter “os pés no chão”, pelo amor e carinho que sentes por mim e que demonstraste ao longo deste caminho que já percorremos. Obrigado por tudo, e espero poder continuar a contar com todo o teu apoio nesta nova fase da minha vida.

Lista de Figuras

Figura 1 – Melhor e pior projeção na procura de energia local.....	3
Figura 2 – Multímetro UNI-T UT207	15
Figura 3 – Características dos sensores TAC SCR100	16
Figura 4 – TAC SCR100	17
Figura 5 – Vista em corte de uma UTA	19
Figura 6 – Gráfico relativo aos consumos energéticos do Período Ameno.....	26
Figura 7 – Gráfico relativo aos consumos energéticos do Período Pico Quente.....	28
Figura 8 - Gráfico relativo aos consumos energéticos do Período Pico Frio	30
Figura 9 – Comparação de emissões de CO ₂	34

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Características do multímetro	15
Tabela 2 – Listagem de ventiladores	20
Tabela 3 – Caudais mínimos de ar novo.....	22
Tabela 4 – Concentrações máximas de referência de poluentes	23
Tabela 5 – Tabela de consumos relativos ao Período Ameno.....	25
Tabela 6 – Tabela de consumos relativos ao Período Pico Quente	27
Tabela 7 - Tabela de consumos relativos ao Período Pico Frio.....	29
Tabela 8 – Emissões CO ₂ no Período Ameno.....	32
Tabela 9 - Emissões CO ₂ no Período Pico Quente	33
Tabela 10 - Emissões CO ₂ no Período Pico Frio	33

Abreviaturas e Acrónimos

AQS – Águas Quentes Sanitárias

ASHRAE - American Society of Heating Refrigerating and Air Conditionong Engineers

AVAC – Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado

GT3 – Gabinete Técnico de Engenharia

GTC – Gestão Técnica Centralizada

ITED – Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios

MALL – Corredores públicos

QAI – Qualidade de Ar Interior

RCCTE Regulamento das Características de Comportamento Térmico dos Edifícios

RCESE – Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios

SCE – Sistema de Certificação Energética

UTA – Unidade de Tratamento de Ar

UTAN – Unidade de Tratamento de Ar Novo

WBCSD – World Business Coundil for Sustainable Development

Nomenclatura

A – Ampere

AC – Alternate Current

CO₂ – Dióxido de Carbono

Hz – Hertz

kPa – kilopascal

kW – Kilowatt

ppm – partes por milhão

Índice de Conteúdos

1	Introdução	2
1.1	Apresentação da Empresa GT3 – Gabinete Técnico de Engenharia Lda.....	6
2	Instalação	8
3	Metodologia Medições Experimentais	14
3.1	Multímetro UNI-T UT207	14
3.2	Sensor CO ₂ TAC SCR100	16
3.3	GTC – Gestão Técnica Centralizada	18
3.4	Ventiladores	19
3.5	Decreto de Lei 79/2006	21
4	Resultados	24
4.1	Período Ameno	25
4.2	Período Pico Quente	27
4.3	Período Pico Frio	29
4.4	Monitorização Contínua da Qualidade do Ar vs Benefícios Ambientais.....	32
5	Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro.....	35
6	Referências e Bibliografia	37
ANEXO A:	Sensor CO ₂ TAC SCR100	38
ANEXO B:	Declaração de Aferição dos Sensores de CO ₂ TAC SCR100.....	41

1 Introdução

A realização desta tese surge no âmbito do curso de Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, com especialização em Energia Térmica.

A preferência por uma tese em ambiente empresarial surgiu por opção pessoal e curiosidade pelo mundo empresarial e mercado de trabalho. Outro fator importante nesta escolha foi o de ter existido a possibilidade de executar um trabalho numa área do meu agrado e numa empresa de renome na área da projeção e manutenção de sistemas AVAC (Aquecimento, Ventilação e Ar-Condicionado). Foi para mim, de extrema importância, um contacto com o mundo empresarial antes de ser inserido no mercado de trabalho. Isto possibilitou-me ter uma outra visão mais realista do que realmente é ser Engenheiro, e aprender a lidar com a pressão e exigências existentes e que estão ligadas a esta profissão.

Desde o princípio do século passado, que tem havido um crescimento abundante das necessidades energéticas. Até bem recentemente essas necessidades têm sido suprimidas recorrendo principalmente aos combustíveis fósseis como o carvão ou o petróleo. Hoje em dia já existe uma maior preocupação económica e ambiental relativamente à produção energética. Isto originou uma procura cada vez maior pela redução de custos e consumos energéticos associados á correta exploração, principalmente em grandes edifícios.

Segundo o WBCSD (World Business Council for Sustainable Development) os edifícios contribuem com cerca de 40% do consumo de energia primária dos países abrangidos pelo seu estudo [1]. E se o consumo energético em edifícios na China e Índia aumentar para os níveis atuais dos EUA, o consumo destes dois países poderá ser entre 4 a 7 vezes superior do que é hoje. Isto é um aumento brutal do consumo de energia.

Devido a estes dados alarmantes, é que se está a tentar implementar a construção de edifícios cada vez mais autossustentáveis, e a reconversão dos edifícios já existentes em edifícios mais eficientes energeticamente, sempre tendo como referencia o ciclo de vida associado.

Na Figura 1, mostra-se um gráfico com as previsões para o ano 2050 da procura energética por parte de países que têm vindo a mostrar um grande desenvolvimento industrial e empresarial. Este gráfico mostra os níveis de procura no ano 2003, e as piores e melhores projeções para a procura em 2050.

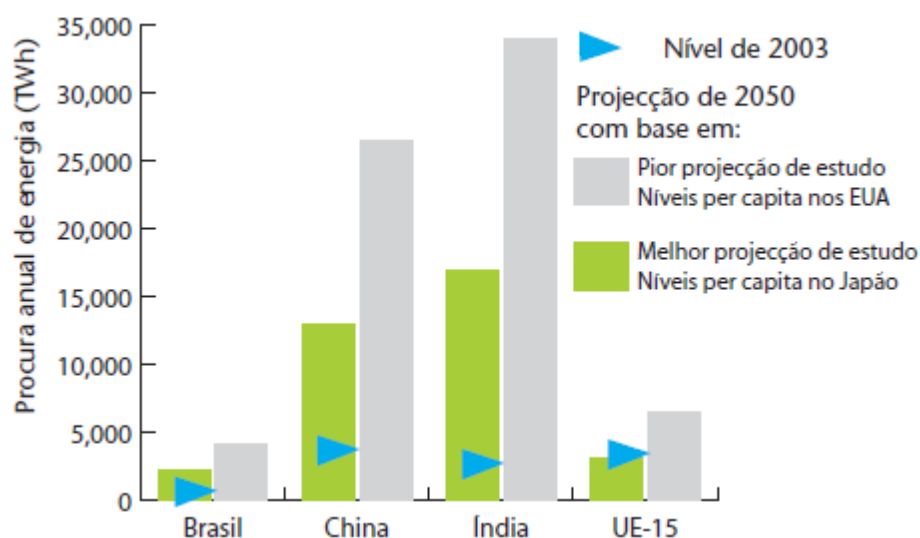


Figura 1 – Melhor e pior projeção na procura de energia local

Para além da questão ambiental, a questão económica também é uma das principais impulsionadoras na procura pela redução de custos energéticos. Principalmente após estes últimos anos de crise económica acentuada, tem sido notório um esforço para se efetuar uma redução de custos de exploração não só no mundo empresarial mas também a nível familiar. Uma das áreas onde se tem procurado reduzir é no consumo de energia. Tem-se procurado uma redução não só dentro das possibilidades da edificação, mas também aquando a construção ou renovação de um edifício torna-lo ainda mais eficiente energeticamente.

Foi neste âmbito que surgiu o tema da minha tese, demonstrar que uma monitorização contínua da qualidade do ar interior origina uma poupança bastante considerável de energia. A instalação AVAC em questão pertence a um grande edifício de serviços.

De acordo com a realidade portuguesa, existem por lei duas opções, no que toca à manutenção da qualidade do ar interior e que estão presentes no decreto de lei 79/2006. Estas são a injeção de caudais ar novo contínuos (que consiste numa ventilação contínua do espaço partindo do princípio que a lotação no espaço em qualquer momento é sempre a máxima projetada), e o controlo dos níveis de CO₂ e consequentemente dos caudais de ventilação por forma a que estes não excedam o limite máximo legal [2].

O objetivo desta dissertação foi demonstrar que se for efetuado uma monitorização contínua da qualidade do ar interior, através de sensores de CO₂ é possível reduzir bastante aos custos energéticos de exploração da instalação, pois existe uma redução acentuada do número de horas de funcionamento dos equipamentos.

Apesar de haver bastantes edifícios que ainda têm uma instalação AVAC que funciona por injeção contínua de ar novo, existe a tendência para ser realizada a conversão para um controlo por níveis de CO₂ interior, pois a grande maioria dos edifícios não têm a sua lotação esgotada durante a totalidade do seu horário de funcionamento. Aquando do funcionamento de uma instalação por controlo por CO₂, para além dos sensores de CO₂ existem também sensores de temperatura interior para manter a temperatura do espaço o mais próximo possível da temperatura de conforto. A atuação das UTA's é portanto efetuada ou por CO₂ e/ou por temperatura.

O controlo por CO₂ é efetuado por sensores posicionados no interior da instalação, no exterior e nos equipamentos de ventilação, e que permitem manter os níveis interiores deste em valores abaixo do limite legal. Este controlo é efetuado por sensores que fazem atuar os ventiladores das UTA's quando o nível de concentração deste poluente ultrapassa um certo limite imposto.

O facto de ser efetuado este tipo de controlo também permite não só uma redução dos regimes dos ventiladores das UTA's, mas também das baterias de aquecimento e arrefecimento, isto porque se a instalação estiver a funcionar com injeção de ar novo, caso a temperatura exterior seja superior/inferior à temperatura definida como de conforto, o ar vai necessitar constantemente de ser aquecido/arrefecido.

Para a instalação em questão foram escolhidos para serem objeto de análise, três períodos de três dias cada que representassem um período quente, um período frio e um período ameno. Isto permitiu ter uma noção do comportamento da instalação durante o ano.

Existem outras instalações onde este processo, de monitorização contínua da qualidade do ar por controlo de níveis de CO₂, já foi implementado pois traz benefícios em termos de consumos energéticos. Uma comparação com um edifício de serviços de todo semelhante ao que está em análises permitiu verificar através dos dados obtidos que a instalação em análise tem um comportamento atípico e diferente do que seria expectável, especialmente durante o Período Pico Frio. Isto porque seria expectável que a instalação durante o Período Pico Frio estivesse a trabalhar um maior número de horas devido a diversos fatores como a eficácia de ventilação e a difusão do ar. Ao tentar encontrar-se uma justificação para tal fenómeno, constatou-se que a afluência de pessoas ao edifício em análise durante o Período Pico Frio era mais baixa. Esta constatação justifica o comportamento atípico da instalação, pois se a afluência é baixa, o CO₂ emitido vai ser menor, logo a instalação vai trabalhar um número menor de horas.

Além dos dados recolhidos nesta dissertação, existem também diversos artigos e publicações que atestam os benefícios de uma monitorização contínua da qualidade do ar por controlo de CO₂. Um estudo da AirTest concluiu que se for combinada uma estratégia economizadora com o uso de sensores de CO₂, é possível ter reduções de consumo, de uma instalação AVAC, entre os 30% e mais de 80% [3]. Sendo que estes resultados variam de acordo com o tipo de edifício e com a instalação existente. Este estudo revela que, tal como já foi falado em cima, a maioria dos edifícios tem sistemas de ventilação dimensionados de acordo com a ocupação máxima para a qual o edifício foi projetado. E na maioria dos casos, a ocupação média do edifício nunca se aproxima sequer do valor máximo para o qual o edifício está preparado. Assim sendo, faz da injeção de caudais de ar novo constantes a estratégia de ventilação mais dispendiosa de todas. E dá-se ainda o caso de a ventilação estar já sobredimensionada por questões de segurança (relativamente à ocupação máxima), o que faz com que de acordo com a realidade, a sobredimensionamento seja ainda superior. O controlo por CO₂ é assim uma tecnologia viável que permite medir e controlar o ar ventilado para um edifício baseando-se na ocupação em tempo real e assegurando os níveis de ventilação adequados que permitem manter uma boa qualidade de ar [3].

Também no artigo publicado no American Society of Heating Refrigerating and Air Conditioning Engineers (ASHRAE) Journal [4] se afirma que caso a manutenção da qualidade do ar no interior de um edifício for efetuada por controlo de níveis de CO₂, é

possível obter reduções promissoras nos consumos energéticos da instalação de ventilação. Esta redução é mais evidente em edifícios que tenham uma grande variação de ocupação ao longo do seu horário de funcionamento. O que é o caso do edifício onde está a instalação em estudo, a ocupação varia bastante ao longo do dia. Esta é uma das características principais do caso de estudo desta dissertação.

Mesmo em edifícios em que a taxa de ocupação é relativamente estável, um controlo da qualidade do ar por níveis de CO₂ é vantajoso pois permite assegurar que todas as zonas do edifício são corretamente ventiladas de acordo com as necessidades ditadas pela taxa de ocupação [5]. Com todos estes dados é possível afirmar que o uso do CO₂ como parâmetro de conforto no que toca à qualidade do ar interior é perfeitamente válido, e que pode e deve ser usado como parâmetro de qualidade do ar ao mesmo nível da temperatura e da humidade relativa [5].

Ao usar o controlo de CO₂ como base da ventilação do edifício, é necessário definir os valores deste gás para os quais a instalação vai atuar. Como será mencionado mais à frente, a instalação em estudo está programada para começar a ventilar assim que o valor de CO₂ ultrapassar os 800ppm, e para desligar assim que os valores de CO₂ baixarem dos 700ppm. Mas estes valores foram definidos pela empresa responsável pela manutenção da instalação e pelo proprietário desta. Segundo a ASHRAE no interior de um edifício, os valores de CO₂ devem ser no máximo 650ppm superiores ao exterior. Segundo a mesma organização, os valores médios no exterior (dependo da zona em questão) variam entre 380ppm e os 500ppm. Assim sendo, a ASHRAE não recomenda valores superiores a cerca de 1030ppm [6]. Sendo que no exterior do edifício em estudo a concentração máxima de CO₂ oscila entre os 400ppm e os 450ppm, a opção de fixar os valores de *set point* da instalação para os 800ppm (ligar) e os 700ppm (desligar) está em sintonia com os valores da ASHRAE. A decisão da empresa que executa a manutenção e do proprietário da instalação na definição destes *set points* foi motivada pela busca por uma qualidade de ar perfeita e adequada ao tipo de edifício. Pois no tipo de edifício em questão, o bem-estar e boa disposição dos ocupantes é fundamental para a atividade que estes vão fazer.

Para esta dissertação foi apenas focado a monitorização contínua dos níveis de CO₂ vs consumo elétrico dos ventiladores das UTA's, tendo portanto sido já deslastrado dos dados obtidos (a nível de horas de funcionamento e consumo dos equipamentos) o controlo por temperatura. Todos os dados utilizados são portanto apenas relativos ao acionamento e consumos elétricos dos ventiladores das UTA's através do controlo por CO₂.

A questão ambiental também vai ser alvo de uma focalização, ao ser abordada a quantidade de CO₂ que não é emitido, derivado da poupança energética efetuada ao submeter a instalação a um controlo da qualidade do ar por CO₂ interior.

1.1 Apresentação da Empresa GT3 – Gabinete Técnico de Engenharia Lda

O GT3 – Gabinete Técnico de Engenharia, Lda tem como objetivo a consultoria, estudos, projetos, coordenação, fiscalização, gestão de manutenção e auditorias de empreitadas de instalações especiais.

O conhecimento da realidade atual e das necessidades dos clientes, permite ao GT3 apresentar soluções que satisfaçam os diversos setores empresarial e particular, satisfazendo as vertentes funcional, económica e ambiental.

O GT3 reúne um conjunto de competências técnicas, aliadas à capacidade produtiva nas múltiplas disciplinas, permitindo a eficiente realização dos trabalhos.

Uma equipe com espírito jovem e dinâmico acompanha as novas tendências tecnológicas, conciliando os interesses dos nossos clientes com a consciência de uma realidade cada vez mais exigente.

Consciente do ciclo de vida, o GT3 acompanha todas as etapas associadas a conceção, construção e exploração de edificações.

De entre as múltiplas áreas de intervenção em edifícios de habitação, comerciais, escolas, hospitais, lojas, auditórios, museus, escritórios, fábricas armazéns, parques estacionamento, parques públicos, túneis, piscinas públicas e privadas, destacam-se as seguintes:

- ⊕ Certificação energética (SCE);
- ⊕ Aquecimento central;
- ⊕ Aspiração e despoeiramento industrial;
- ⊕ Transporte e distribuição pneumática;
- ⊕ AVAC – aquecimento, ventilação e ar condicionado;
- ⊕ Captação, tratamento e distribuição de águas;
- ⊕ Comportamento térmico - RCCTE;
- ⊕ Desenfumagem;
- ⊕ Energias renováveis;
- ⊕ Estruturas metálicas;
- ⊕ Luminotecnia;
- ⊕ Gestão técnica de energia;
- ⊕ Hidráulica;
- ⊕ Sistemas energéticos - RSECE;
- ⊕ Qualidade de ar interior - QAI;
- ⊕ Redes elétricas de baixa, média e alta tensão;
- ⊕ Redes de dados e cablagem estruturada – ITED;

- ⊕ Redes de armazenagem, abastecimento e distribuição de combustíveis gasosos, líquidos e sólidos;
- ⊕ Refrigeração industrial e alimentar;
- ⊕ Auditorias energéticas;

2 Instalação

A presente dissertação refere-se às instalações de ventilação e climatização de um grande edifício de serviços.

O objetivo desta instalação é o de promover todas as condições de conforto e segurança inerentes à utilização dos diversos espaços que constituem a edificação, o que contempla os seguintes tópicos:

- o aquecimento, arrefecimento ambiente e ventilação das zonas comuns do edifício de serviços, nomeadamente, da zona dos Mall (corredores públicos), espaço do edifício em si entre as divisões, e dos espaços adjacentes a este;
- o fornecimento da energia térmica necessária para o arrefecimento e aquecimento ambiente e a ventilação dos compartimentos com área superior a 1000 m²;
- o fornecimento da energia térmica necessária para o arrefecimento ambiente das compartimentos com área inferior a 1000 m²;
- a ventilação mecânica das compartimentos com área inferior a 1000 m²;
- a definição das áreas técnicas para implementação dos sistemas de climatização, ventilação normal e de emergência a instalar pelos futuros proprietários das compartimentos com área superior a 1000 m², assim como, todos as couretes ou ductos técnicos para passagem das respetivas infraestruturas;
- a produção de água quente sanitária (AQS) para as os balneários do pessoal;
- a ventilação mecânica das instalações sanitárias do centro comercial, assim como, a ventilação mecânica das arrecadações, arrumos e áreas técnicas localizadas nas caves e dos respetivos corredores de acesso;
- a contabilização individualizada dos consumos térmicos, de modo a permitir uma correta afetação dos custos associados;
- a colocação ao abrigo de fumos em caso de incêndio, por pressurização, das vias de comunicação verticais (caixa de escadas) de acesso aos pisos de estacionamento,
- a ventilação de desenfumagem (em situação de incêndio) das compartimentos com área inferior a 1000 m²;
- a ventilação de desenfumagem por meios naturais das zonas do Mall com exceção da zona Sul do piso 0 que é efetuada de modo mecânico;

- a ventilação mecânica de controlo de poluição e de emergência em caso de incêndio (desenfumagem) dos pisos de estacionamento e câmaras corta-fogo de acesso ao centro comercial, assim como, do cais de descarga;
- a colocação ao abrigo de fumos em caso de incêndio, por pressurização ou desenfumagem, das vias horizontais de evacuação enclausuradas do centro comercial.

Quanto ao edifício, este é constituído por 4 pisos sendo dois pisos de estacionamento e apoios diversos entre os quais uma zona de reservatórios, bombagens, central de produção de água quente e central de produção de água refrigerada.

Em estudo estarão apenas os dois pisos de acesso ao público.

A cobertura do edifício é plana e alberga áreas técnicas onde é instalada a grande maioria dos equipamentos que integram os sistemas aqui englobados, nomeadamente, unidades de tratamento de ar, ventiladores, e subestações para bombagens, *chiller's* ar/água entre outros equipamentos.

Para o cálculo das necessidades energéticas da generalidade dos espaços, o projeto baseou-se em valores de temperatura interior que consigam satisfazer as exigências de conforto térmico. Estas exigências em caso de aquecimento do ambiente são de 20°C e em casos de arrefecimento de ambiente são de 25°C. Relativamente à humidade, a instalação em questão não dispõe de um controlo sobre esta apenas dispõe de um controlo sobre o tratamento térmico a que o ar é sujeito. Este tratamento por si só é suficiente para garantir valores de humidade dentro do conforto térmico.

No caso de a instalação estar a funcionar por injeção de ar novo, as taxas de ventilação e renovação de ar necessárias têm por base o Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios (decreto de lei 79/2006)[2] sendo estas:

- 30m³/h/pessoa de caudal de ar novo para a zona da alimentação
- 5m³/h/m² de caudal de ar novo para a restante instalação

No caso de a instalação estar a funcionar através de controlo por CO₂, o nível máximo permitido por lei são 984ppm de CO₂ [7]. De modo a não atingir estes valores e a proporcionar um nível elevado de conforto, os sensores de CO₂ estão programados para ativar os ventiladores assim que os níveis deste gás atingirem os 800ppm e desligar os ventiladores assim que os valores descenderem aos 700ppm de CO₂.

No entanto, para a instalação estar de acordo com a legislação em vigor, o equipamento instalado foi dimensionado e tem que ter a capacidade de cumprir os valores de injeção de ar novo previstos legalmente, que estão indicados em cima.

No edifício de modo a fazer face às necessidades regulamentares e de qualidade e à tipologia de utilização, existem os seguintes sistemas:

- Sistema de climatização
- Sistema de ventilação
- Sistema de proteção contra incêndios e controlo de fumos
- Equipamento de campo para comando de controlo e interfaces para ligação (à GTC e Central de Incêndios)

As instalações do sistema de climatização assentam sobre duas grandes centrais térmicas, sendo que uma assegura a produção e distribuição de água quente e outra a produção e distribuição de água refrigerada.

Em complemento e como base à produção da água quente sanitária (AQS) foram instalados sistemas de coletores solares na cobertura do edifício. O apoio energético à produção de AQS é garantido por resistências elétricas inseridas nos respetivos depósitos locais.

A central térmica de produção de água quente para aquecimento ambiente utiliza duas caldeiras de queima de gás natural, e a central térmica de produção de água refrigerada é constituída por cinco *chiller's* ar/água.

Sendo que esta dissertação incide sobre as UTA's e respetivos ventiladores, é ao sistema que inclui os ventiladores e respetivos sensores que iremos dar uma atenção mais pormenorizada daqui em diante.

A climatização e renovação do ar das circulações normalmente designadas por Mall é garantida por unidades de tratamento de ar definidas por forma a permitir satisfazer as necessidades calculadas para as zonas a elas adstritas. Estas unidades de tratamento de ar podem estar em funcionamento de duas maneiras, como já foi dito, por injeção de ar novo ou por controlo por temperatura e/ou CO₂. Quando estão em funcionamento por controlo de temperatura e CO₂, as unidades de tratamento de ar (UTA's) são controladas por uma rede de 38 sensores quer têm a capacidade de medir a temperatura e a concentração de CO₂ presente no ar interior.

As UTA's são equipamentos de tratamento e ventilação de ar. De modo a climatizar o ar, possuem baterias de aquecimento e arrefecimento que são alimentadas pelas respetivas centrais térmicas. O ar é forçado através destas baterias por meio de ventiladores. Estes equipamentos para além insuflar ar novo e extrair o ar interior, faz ainda uma recirculação de ar e recuperação térmica dos caudais em jogo.

As unidades de tratamento de ar são equipadas com os níveis de filtragem adequados à garantia de uma boa qualidade do ar interior. Possuem secções de filtragem do ar exterior, pré-filtros a montante dos recuperadores de calor e filtros a jusante do ventilador de insuflação.

Os caudais de renovação de ar dos espaços tratados são variáveis a partir do mínimo definido, adaptando-se automaticamente em função da relação entre as condições interiores e exteriores verificadas em dado momento, isto é, em função da qualidade do ar interior das várias zonas em causa. Basicamente e por experimentação foram regulados os ventiladores para 50% do regime máximo possível, operando em modo tudo-nada.

Por outro lado, quando as condições exteriores forem energeticamente favoráveis, a quantidade de ar de renovação é maximizada (100 % de ar novo) de forma a reduzir os consumos energéticos, modo *free-cooling*.

Estão, ainda, previstos módulos de recuperação de calor para as UTA's permitindo sempre que necessário que o ar novo a insuflar retire ou entregue calor ao ar de extração antes da sua rejeição para o exterior. Assim, as unidades são dotadas de recuperador do tipo “ fluxos cruzados” equipados com *bypass* que permite a dupla função de recuperação de calor ou de rejeição direta para o exterior quando as condições do ar extraído não favoreçam a recuperação.

A partir das diferentes unidades de tratamento de ar desenvolve-se a respetiva rede de condutas que, através de grelhas e difusores, distribuiu o ar pelas diversas zonas a tratar.

Todas as condutas, quer de insuflação, são termicamente isoladas e quando no exterior ou no interior à vista, são, ainda, revestidas por forra de proteção mecânica.

As condutas de retorno, igualmente isoladas, quando desempenham, cumulativamente, funções de desenfumagem são, ainda, revestidas exteriormente por material que lhes confira a resistência ao fogo no grau adequado. Sempre que se desenvolvam no exterior ou no interior à vista, são, ainda, revestidas por forra de proteção mecânica.

A insuflação do ar tratado no Mall é promovida, de um modo geral, através de tubeiras do tipo injetores distribuídas ao longo das circulações e corredores e por difusores circulares instalados nos tetos falsos.

Sempre que a altimetria do espaço interior o aconselhara, nomeadamente nos átrios, as tubeiras são de elevada indução e alcance e com direção de jato orientável.

As tubeiras são ligadas às condutas principais por meio de troços de conduta de secção circular isolados e providas de registos de regulação de caudal com acessibilidade garantida.

Os difusores circulares são montados em plenos isolados e ligados às condutas principais por condutas flexíveis isoladas e com características de atenuação acústica.

A aspiração de ar de retorno no Mall é realizada por intermédio de grelhas lineares de montagem vertical ou horizontal, quando montadas em sanca ou no teto falso respetivamente. As grelhas são dotadas de um pleno equipado com registo de caudal e interligadas à conduta principal por pequenos troços de conduta circular flexível isolada.

As unidades de tratamento de ar são de funcionamento a “4 tubos”, com baterias de aquecimento e arrefecimento independentes alimentadas por circuitos individualizados.

As baterias de aquecimento e arrefecimento são equipadas com um conjunto de regulação do caudal de água de alimentação constituído por uma válvula de 2 vias com servomotor modulante, uma válvula de medição e regulação de caudal a montante daquela, ambas na tubagem de ida, e duas válvulas de corte.

A drenagem de condensados das UTA's dispõe de sifão para descarga na rede de drenagem prevista para o espaço técnico de instalação.

A alimentação elétrica das unidades de tratamento de ar é feita a partir de quadros elétricos previstos nas áreas técnicas onde as mesmas estão instaladas.

O comando, monitorização, controlo de temperatura e encravamentos necessários são assegurados, integralmente pelo SGTC (sistema de gestão técnica centralizada), sendo o acionamento feito individualmente (por cada unidade de tratamento) através de programação

horário ou ação do operador no terminal de comando, cabendo à GTC desencadear automaticamente, as seguintes tarefas:

- comandar separadamente, o arranque e paragem dos ventiladores (insuflação e extração) com confirmação do estado de funcionamento (pressostato diferencial) ou de avaria (disparo de térmico dos motores);
- leitura da temperatura e humidade no local (sondas de ambiente);
- leitura da temperatura e humidade na conduta de retorno (sondas de conduta);
- leitura da temperatura de insuflação na conduta à saída na unidade (sonda de temperatura);
- leitura da temperatura do ar a jusante do recuperador e antes das baterias (sonda de temperatura);
- abertura/fecho do bypass ao recuperador de calor (por comparação das temperaturas do ar exterior e do ar de retorno);
- efetuar o balanço das entalpias do ar exterior e do ar de retorno (sondas de temperatura e humidade) por forma a assegurar a função *free-cooling* por atuação nos registos de chegada à caixa de mistura;
- modulação da quantidade de ar novo a admitir da qualidade do ar de retorno, por atuação nos registos de admissão e de recirculação;
- controlar as válvulas de 2 vias modulantes dos circuitos hidráulicos das baterias de arrefecimento e aquecimento das UTA's com base nos dados aferidos pelas sondas na conduta de retorno, à saída do recuperador e na conduta de insuflação, garantindo a massa térmica necessária à estabilização da temperatura dentro dos limites predefinidos para os diversos espaços a tratar;
- leitura das temperaturas de água à entrada e saída de cada uma das baterias (sondas de imersão);
- receber e gerir a informação fornecida pelos pressostatos diferenciais, quanto à colmatação dos filtros de tratamento de ar nas unidades.

Para os espaços existentes adjacentes ao Mall, foram projetadas duas situações diferentes conforme a área do espaço em questão ser superior ou inferior a 1000m².

Caso o espaço tenha uma área útil superior a 1000 m², as infraestruturas hidráulicas foram disponibilizadas pela empreitada geral de AVAC, tendo a sua origem nas centrais de produção, necessárias à alimentação dos sistemas a definir pelos utilizadores destes espaços. Assim, para cada compartimento estão previstas duas alimentações, um circuito hidráulico de alimentação de água quente e outro circuito hidráulico de alimentação de água arrefecida. Ambas as alimentações são equipadas com válvulas de corte (alimentação e retorno) válvula de regulação e medição de caudal.

Para os compartimentos com área inferior a 1.000 m² são consideradas todas as infraestruturas necessárias, nomeadamente, os circuitos hidráulicos de água refrigerada que permitirão o arrefecimento ambiente mediante a interligação aos equipamentos locais de tratamento ambiente a instalar nas mesmas pelo próprio encarregado, sistemas para renovação de ar e sistemas de desenfumagem. Assim, para cada compartimento está prevista uma picagem derivada do circuito hidráulico de alimentação de água arrefecida equipada com válvulas de corte (alimentação e retorno) válvula de regulação e medição de caudal [8].

Tal como já foi dito em cima esta dissertação irá focar-se no consumo elétrico dos ventiladores das UTA's associadas aos espaços Mall aquando do seu acionamento devido a níveis considerados desadequados de CO₂ interiores vs injeção de caudais de ar novo constantes, tendo por isso sendo já deslastrados dos dados (horas de funcionamento e consumos) de acionamento dos ventiladores por necessidades térmicas (temperatura).

3 Metodologia Medições Experimentais

3.1 Multímetro UNI-T UT207

De modo a aferir a veracidade dos dados relativos ao consumo dos ventiladores foi usado um multímetro de pinças da marca UNI-T, modelo UT207. Este multímetro foi utilizado para saber o valor da corrente elétrica, em amperes, que cada ventilador estava a consumir. O método utilizado para obter o valor dos consumos dos ventiladores foi o de efetuar uma comparação dos valores de consumo elétrico em tempo real com os valores registados pelos analisadores de redes integrados no sistema de gestão técnica centralizada GTC. Em primeiro lugar foi medida a corrente elétrica, em amperes, de cada ventilador. A corrente elétrica foi posteriormente convertida em consumo elétrico. Ao obtermos o consumo elétrico do ventilador aquando da medição da corrente, efetuou-se uma comparação desse valor com o valor registado na GTC. Isto de modo a evitar leituras não reais por parte do *software* de gestão. Este tipo de operação manual de medição de consumos é efetuado na instalação com uma periodicidade de 6 meses, de modo a detetar possíveis erros de *software* ou dos analisadores de rede. A corrente em amperes foi medida em AC.



Figura 2 – Multímetro UNI-T UT207

Seguidamente apresentam-se as principais características do multímetro em questão, da secção de medição de corrente em AC[9]:

Tabela 1 – Características do multímetro

Escala	Resolução	Erro	Resposta em Frequência
66.00A	0,01A	$\pm(2\%+40)$	50Hz ~ 60Hz
1000A	1A	$\pm(2\%+8)$	50Hz ~ 60Hz

3.2 Sensor CO₂TAC SCR100

Os sensores presentes na instalação de estudo são do fabricante TAC, modelo SCR100. Estes sensores estão colocados nas paredes interiores do edifício, a uma cota de 2 metros de altura. Estes sensores, para além de medirem a concentração de CO₂ possuem também um sensor de temperatura. Têm portanto as duas funções, sensor de temperatura e sensor de CO₂. Estes sensores funcionam por infravermelho e não necessitam de manutenção. Apenas são substituídos quando já apresentam um erro superior a 5%. Esta verificação é realizada anualmente.

Na Figura 3 podem ver-se algumas características do sensor, relativamente à análise da concentração de CO₂ [10]:

<i>Carbon dioxide Sensor</i>	
Response Time	<3 min
Operation	non-dispersive, infrared (NDIR)
Sampling	diffusion
Range	0 – 2000 ppm
Accuracy	
... ± 1% of measurement range ± 5 % of measured value	
Annual drift	±10 ppm (nominal)
CO ₂ Pressure dependence	
1.6% change in reading per 1 kPa deviation from 100 kPa	

Figura 3 – Características dos sensores TAC SCR100

Estes sensores estão espalhados pelos dois pisos em estudo da instalação. Sendo que existem 14 sensores no piso 0, dos quais 6 são usados como sensor de CO₂ e temperatura, os restantes 8 são utilizados apenas como sensor de temperatura. Quanto ao piso 1, existem 24 sensores sendo que 10 são usados para o controlo de temperatura e CO₂ e os restantes 14 são usados apenas para o controlo de temperatura.

De salientar é o facto de existir independência de funções nos sensores que englobam a medição dos níveis CO₂ e temperatura. Ou seja, apesar de fisicamente ser o mesmo sensor, a temperatura e os níveis de CO₂ são independentes um do outro.

Na Figura 4 exibe-se o sensor em questão.



Figura 4 – TAC SCR100

No Anexo A pode encontrar-se os dados do fabricante relativos aos sensores aqui descritos. No Anexo B encontra-se a declaração de Aferição destes.

3.3 GTC – Gestão Técnica Centralizada

A gestão energética tem vindo nos últimos anos a ganhar uma maior notoriedade no mercado energético mundial. Os programas de gestão técnica centralizada têm vindo a ser criados de modo a fazer esta gestão de modo cada vez mais eficaz.

O sistema de gestão técnica centralizada e nas funções com relevância para o presente estudo, permite obter os valores instantâneos de CO₂ interior nas várias zonas que constituem o imóvel. De igual forma regista o histórico anual destas concentrações, bem como consumos elétricos, temperaturas e número de horas de operação. Este registo é realizado de modo praticamente contínuo (intervalos de 5 minutos entre registos).

Torna-se assim possível deslastrar todos os consumos e horas de operação não dedicados apenas e exclusivamente a necessidades de renovação de ar interior com um grau de incerteza perfeitamente aceitável.

3.4 Ventiladores

Os ventiladores das UTA's são um elemento fundamental destas, pois são os ventiladores que forçam a passagem do ar pela UTA de modo a este ser impulsionado para o interior do imóvel, ser filtrado e climatizado. Os ventiladores têm um princípio de funcionamento bastante simples, e são atuados por um motor elétrico com transmissão indireta. As UTA's possuem dois ventiladores, um de insuflação e outro de extração. Cada um dos ventiladores tem um motor. No caso da instalação em questão, foram analisadas 11 UTA's relativas aos dois pisos de acesso ao público do edifício em questão.

O tipo de ventiladores presentes nesta instalação é igual em todas as UTA's, são ventiladores centrífugos de transmissão indireta por correias. Apenas varia o modelo e a potência de cada um deles.

Os ventiladores centrífugos são extremamente simples, e incluem, de um modo geral, um motor, uma pá rotativa e uma secção de conduta onde se encontra a pá rotativa. O ventilador utiliza a energia cinética da pá para aumentar a velocidade do fluxo de ar que por ela passa. A velocidade é imposta pela relação das *polies* do motor elétrico e do ventilador, uma vez que estamos a falar de ventiladores de transmissão indireta. Esta transmissão é efetuada por uma correia. Em alguns casos podem também ser utilizados variadores de frequência para controlar a velocidade do motor elétrico, influenciando assim a velocidade do próprio ventilador.

Na figura 5 mostra-se uma vista em corte de uma UTA onde estão presentes os dois ventiladores (Insuflação e Extração).

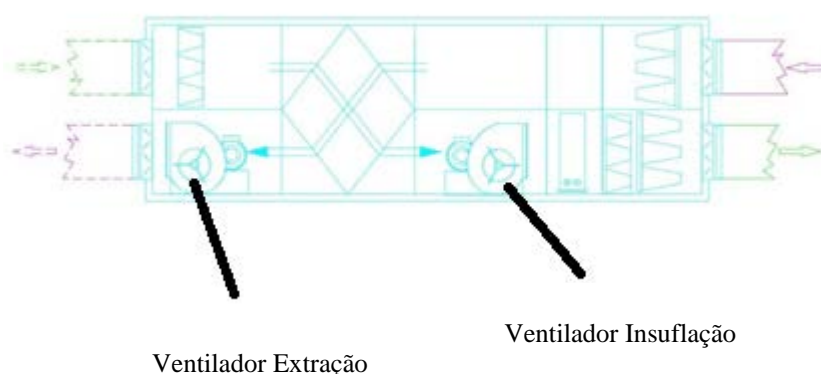


Figura 5 – Vista em corte de uma UTA

Na Tabela 2, mostra-se uma tabela com dados e características dos motores dos ventiladores:

Tabela 2 – Listagem de ventiladores

UTA	Ventilador	Marca	Modelo	Potência (kW)
UTA P0 MALL E	Insuflação	Siemens	1LA7160	15
UTA P0 MALL E	Extração	Siemens	1LA7133	7,5
UTA P0 MALL W	Insuflação	Siemens	1LG4186	22
UTA P0 MALL W	Extração	Siemens	1LG4183	18,5
UTA P0 MALL S	Insuflação	Siemens	1LG4186	22
UTA P0 MALL S	Extração	Siemens	1LG4183	18,5
UTA P1 MALL E1	Insuflação	Siemens	1LA7166	15
UTA P1 MALL E1	Extração	Siemens	1LA7130	5,5
UTA P1 MALL E2	Insuflação	Siemens	1LG4183	18,5
UTA P1 MALL E2	Extração	Siemens	1LA7163	11
UTA P1 MALL E3	Insuflação	Siemens	1LG4207	30
UTA P1 MALL E3	Extração	Siemens	1LG4183	18,5
UTA P1 MALL N	Insuflação	Siemens	1LA7166	15
UTA P1 MALL N	Extração	Siemens	1LA7107	3
UTA P1 MALL S	Insuflação	Siemens	1LG4	18,5
UTA P1 MALL S	Extração	Siemens	1LA7163	11
UTA P1 MALL W1	Insuflação	Siemens	1LA7163	11
UTA P1 MALL W1	Extração	Siemens	1LA7130	5,5
UTA P1 MALL W2	Insuflação	Siemens	1LA7166	15
UTA P1 MALL W2	Extração	Siemens	1LA7163	11
UTA P1 MALL W3	Insuflação	Siemens	1LG4183	18,5
UTA P1 MALL W3	Extração	Siemens	1LA7166	15

3.5 Decreto de Lei 79/2006

O decreto de 79/2006 de 4 de Abril representa uma revisão ao RSECE (Regulamento dos Sistemas Energéticos de Climatização em Edifícios).

O RSECE foi primeiramente aprovado pelo Decreto de Lei nº118/98 de 7 de Maio. O objetivo deste regulamento era introduzir certas medidas de racionalização e de limitação de potências dos sistemas AVAC de modo a evitar o sobredimensionamento das instalações, originando uma superior eficiência energética.

Por altura dos meados da década de noventa do século passado começou a existir um crescimento acentuado da procura de instalações de climatização. Este acontecimento foi derivado da melhoria da qualidade de vida das populações e do seu crescente grau de exigência de conforto, pois estávamos a falar de uma época em que havia prosperidade e ainda não se falavam nem sentiam efeitos de uma crise mundial. Esta procura por equipamentos de climatização aconteceu desde os meios mais familiares e pequenos serviços até a edifícios de grandes dimensões.

Esta procura acentuada resultou num elevado crescimento dos consumos de energia dos edifícios. Isto deu origem a que o setor dos edifícios tivesse a maior taxa de crescimento dos consumos energéticos de todos os setores, com valores a rondar os 12% por ano [2].

Também os programas contra as alterações climáticas tiveram influência numa procura pela redução dos consumos energéticos. Portugal, honrando compromissos para com o Protocolo de Quioto assumiu então responsabilidades no controlo da emissão de gases de estufa. Assim sendo, por mais uma razão, passou a ser importante o controlo do consumo energético dos edifícios de modo a se poder ter cada vez mais uma melhor eficiência. Esta foi uma maneira de cortar nos consumos energéticos do setor dos edifícios e que fez parte de um esforço efetuado por todos os setores consumidores de energia.

Após estes acontecimentos, e através da publicação da Diretiva nº2002/91/CE, a União Europeia impôs a todos os Estados Membros a aplicação e atualização de uma regulamentação que permitisse reduzir os consumos energéticos das instalações de climatização. Estas regras seriam para aplicar em edifício novos e a edifícios que sofressem uma requalificação.

Nesta dissertação já se falou e ainda se vai falar no termo Eficácia de Ventilação. Penso por isso que será importante deixar aqui a definição deste termo à luz da legislação. Eficácia de ventilação é a razão entre o caudal de ar novo que é insuflado ou entra num dado espaço e o caudal de ar novo que chega efetivamente à zona ocupada desse espaço, definida como o volume correspondente à área útil até um pé-direito útil de 2 metros.

Este Decreto de Lei é bastante vasto e abrange variadíssimas áreas. Vai-se por isso focar agora na secção do decreto com mais interesse para esta dissertação. E a secção com mais interesse é o Artigo 29º “Requisitos da qualidade do ar”. De acordo com o ponto nº1 do artigo em questão, aquando da projeção de novos edifícios que contemplem um sistema de climatização com ventilação mecânica abrangidos pelo presente Regulamento, devem cumprir certos caudais mínimos de ar novo que estão presentes no anexo VI da legislação aqui em análise. Na Tabela 3 apresentam-se esses caudais mínimos de acordo com o tipo de edifício em questão.

Tabela 3 – Caudais mínimos de ar novo

ANEXO VI			
Caudais mínimos de ar novo			
Tipo de actividade		Caudais mínimos de ar novo	
		[m ³ /(h.o.ocupante)]	[m ³ /(h.m ²)]
Residencial	Salas de estar e quartos	30	
Comercial	Salas de espera	30	
	Lojas de comércio		5
	Áreas de armazenamento		5
	Vestiários		10
	Supermercados	30	5
Serviços de refeições	Salas de refeições	35	
	Cafetarias	35	35
	Bares, salas de <i>cocktail</i>	35	35
	Sala de preparação de refeições	30	
Empreendimentos turísticos	Quartos/suites	30	
	Corredores/átrios		5
Entretenimento	Corredores/átrios		5
	Auditório	30	
	Zona do palco, estúdios	30	
	Café/foyer	35	35
	Piscinas		10
	Ginásio	35	
Serviços	Gabinetes	35	5
	Salas de conferências	35	20
	Salas de assembleia	30	20
	Salas de desenho	30	
	Consultórios médicos	35	
	Salas de recepção	30	15
	Salas de computador	30	
	Elevadores		15
Escolas	Salas de aula	30	
	Laboratórios	35	
	Auditórios	30	
	Bibliotecas	30	
	Bares	35	
Hospitais	Quartos	45	
	Áreas de recuperação	30	
	Áreas de terapia	30	

O ponto nº8 do mesmo artigo também é de interesse para este estudo uma vez que menciona que no anexo VII da legislação em estudo se encontram as concentrações máximas de referência de poluentes no interior de um edifício [2]. Na Tabela 4 apresentam-se as concentrações máximas permitidas de poluentes no interior de um edifício, presentes no decreto de lei em análise e também na Nota Técnica NT-SCE-02 “Metodologia para auditorias periódicas de QAI em edifícios de serviços existentes no âmbito do RSECE”.

Tabela 4 – Concentrações máximas de referência de poluentes

Tipo	Parâmetros	Concentração máxima de referência	
		mg/m ³	ppm
Físico-Químicos	Partículas suspensas no ar (PM10)	0,15	-
	Dióxido de Carbono (CO ₂)	1800	984
	Monóxido de Carbono (CO)	12,5	10,7
	Ozono (O ₃)	0,2	0,10
	Formaldeído (HCHO)	0,1	0,08
	Compostos Orgânicos Voláteis Totais (COV _{totais})	0,6	0,26 (isobutileno) 0,16 (tolueno)
	Radão	400 Bq/ m ³	
Microbiológicos	Bactérias	500 UFC/ m ³	
	Fungos	500 UFC/ m ³	
	Legionella	100 UFC/L água	

De salientar que na Tabela 4 os valores de concentração em ppm dos poluentes gasosos como o CO₂ referem-se à temperatura de 20°C e à pressão de 1atm (101,325 kPa) [7].

4 Resultados

Para a obtenção de resultados, foram considerados períodos de 3 dias cada, um chamado período ameno, um período pico quente e um período pico frio. Foi tomada esta decisão de modo a retratar-se os extremos da instalação e um período de equilíbrio. De se salientar é o facto de existir um diferencial térmico bastante mais elevado entre a temperatura média do Período Pico Frio e a temperatura de conforto do que entre a temperatura média do Período Pico Quente e a temperatura de conforto. Isto é ainda mais notório e justificável devido à localização geográfica da instalação, sendo que esta se situa perto do mar. Isto implica que durante o Inverno as temperaturas por vezes são bastante baixas, mas no Verão as temperaturas não sobem demasiado.

Para cada um dos três períodos foi feita uma comparação do consumo dos ventiladores das UTA's em funcionamento por controlo de CO₂ (curva Consumo Real Período), e em funcionamento por injeção de caudais de ar novo contínuos (curva Consumo Ar Novo).

Foi ainda efetuada uma estimativa do valor de CO₂ que não é emitido caso se opte pelo sistema de controlo da qualidade de ar interior por controlo de CO₂.

4.1 Período Ameno

Para o período de três dias com uma temperatura amena, foi escolhido um período em que a temperatura média durante as horas de funcionamento da instalação rondou os 23°C, uma temperatura considerada de conforto.

Os dados relativamente ao consumo obtidos foram os representados na Tabela 5:

Tabela 5 – Tabela de consumos relativos ao Período Ameno

UTA	Consumo Período (kW)	Consumo Ar Novo (kW)	Poupança energética (%)
UTA P0 Mall E	225	877,50	74,36
UTA P0 Mall S	359	1579,50	77,27
UTA P0 Mall W	372,50	1579,50	76,42
UTA P1 Mall E1	480	799,50	39,96
UTA P1 Mall E2	708	1150,50	38,46
UTA P1 Mall E3	776	1891	58,97
UTA P1 Mall N	516	702	26,50
UTA P1 Mall S	542	1150,50	52,89
UTA P1 Mall W1	462	643,50	28,21
UTA P1 Mall W2	313	1014	69,13
UTA P1 Mall W3	804	1306,50	38,46

Após o tratamento dos dados, foi possível obter o gráfico representado na Figura 7:

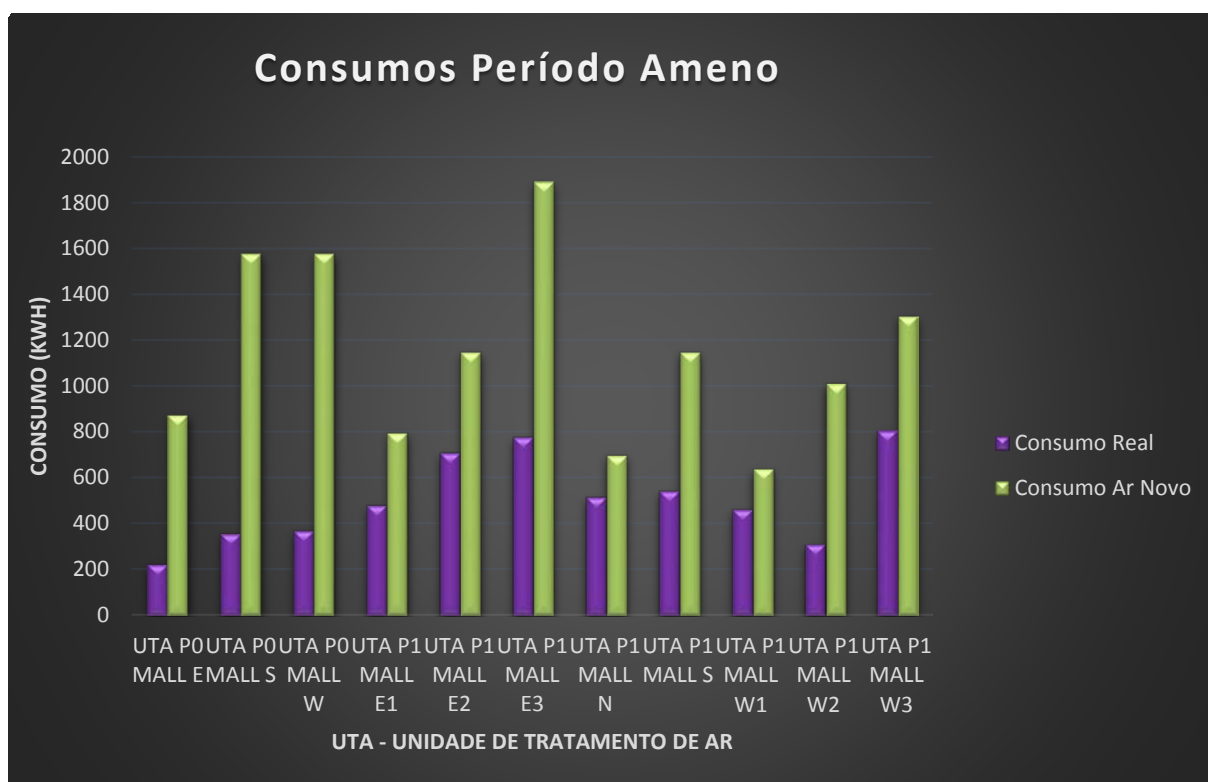


Figura 6 – Gráfico relativo aos consumos energéticos do Período Ameno

Segundo os dados obtidos é possível observar que existe de facto uma poupança energética caso se opte pelo controlo por CO₂.

4.2 Período Pico Quente

Para o período de três dias com uma temperatura quente, foi escolhido um período em que a temperatura média durante as horas de funcionamento da instalação rondou os 27°C, uma temperatura que pode ser já considerada elevada dada a localização geográfica da instalação.

Os dados relativamente ao consumo obtidos foram os representados na Tabela 6:

Tabela 6 – Tabela de consumos relativos ao Período Pico Quente

UTA	Consumo Período (kW)	Consumo Ar Novo (kW)	Poupança energética (%)
UTA P0 Mall E	336,40	877,50	61,67
UTA P0 Mall S	468,50	1579,50	70,34
UTA P0 Mall W	945,30	1579,50	40,15
UTA P1 Mall E1	743,60	799,50	6,99
UTA P1 Mall E2	1048,8	1150,50	8,84
UTA P1 Mall E3	662,50	1891	64,97
UTA P1 Mall N	624,1	702	11,10
UTA P1 Mall S	638,60	1150,50	44,49
UTA P1 Mall W1	598,80	643,50	6,94
UTA P1 Mall W2	743,20	1014	26,71
UTA P1 Mall W3	784,20	1306,50	39,98

Após o tratamento dos dados, foi possível obter o gráfico representado na Figura 8:

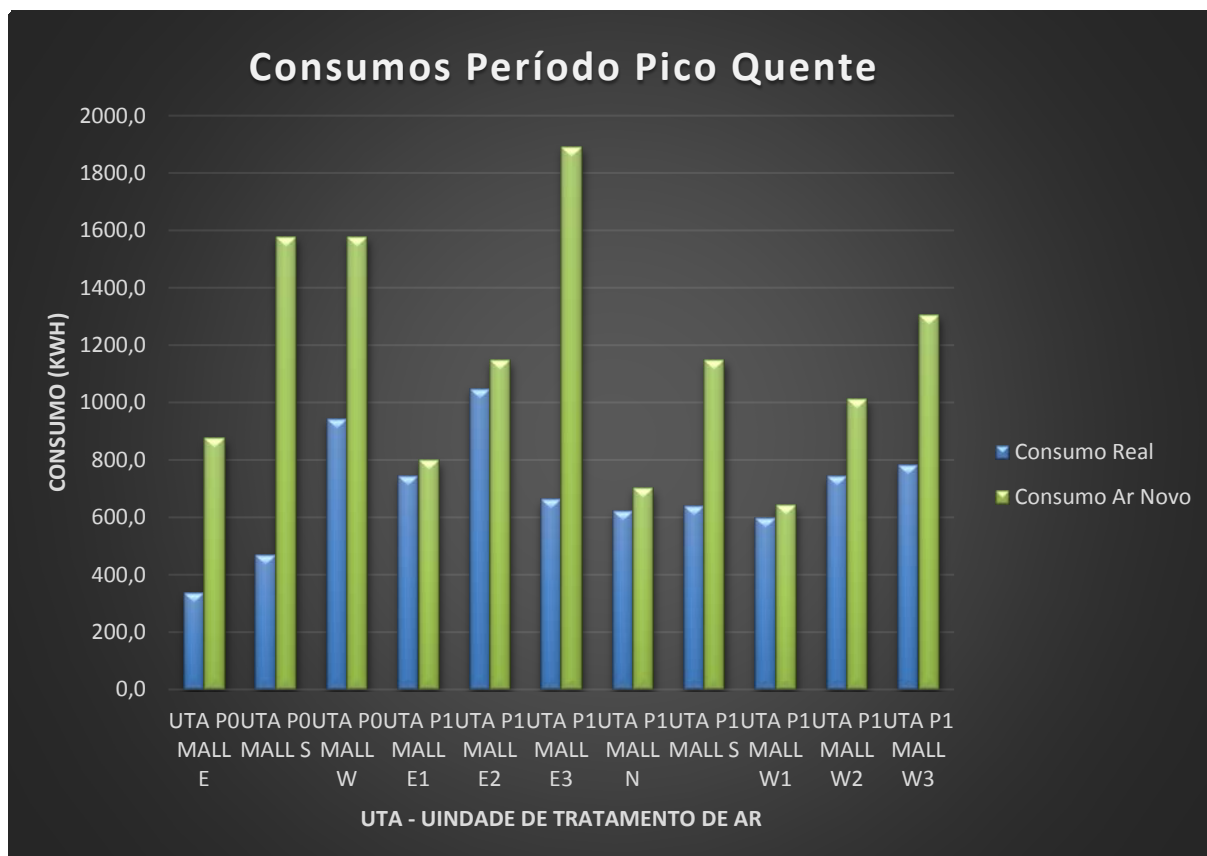


Figura 7 – Gráfico relativo aos consumos energéticos do Período Pico Quente

Segundo os dados obtidos é possível observar que existe de facto uma poupança energética caso se opte pelo controlo por CO₂.

4.3 Período Pico Frio

Para o período de três dias com uma temperatura fria, foi escolhido um período em que a temperatura média durante as horas de funcionamento da instalação rondou os 7°C, uma temperatura que pode ser já considerada baixa.

Os dados relativamente ao consumo obtidos foram os representados na Tabela 7:

Tabela 7 - Tabela de consumos relativos ao Período Pico Frio

UTA	Consumo Período (kW)	Consumo Ar Novo (kW)	Poupança energética (%)
UTA P0 Mall E	189,50	877,50	78,41
UTA P0 Mall S	372,60	1579,50	76,41
UTA P0 Mall W	1055,10	1579,50	33,20
UTA P1 Mall E1	97,10	799,50	87,85
UTA P1 Mall E2	87,60	1150,50	92,38
UTA P1 Mall E3	123,90	1891	93,44
UTA P1 Mall N	439,60	702	37,38
UTA P1 Mall S	156,30	1150,50	86,41
UTA P1 Mall W1	78,20	643,50	87,85
UTA P1 Mall W2	52,10	1014	94,86
UTA P1 Mall W3	158,70	1306,50	87,86

Após o tratamento dos dados, foi possível obter o gráfico representado na Figura 9:

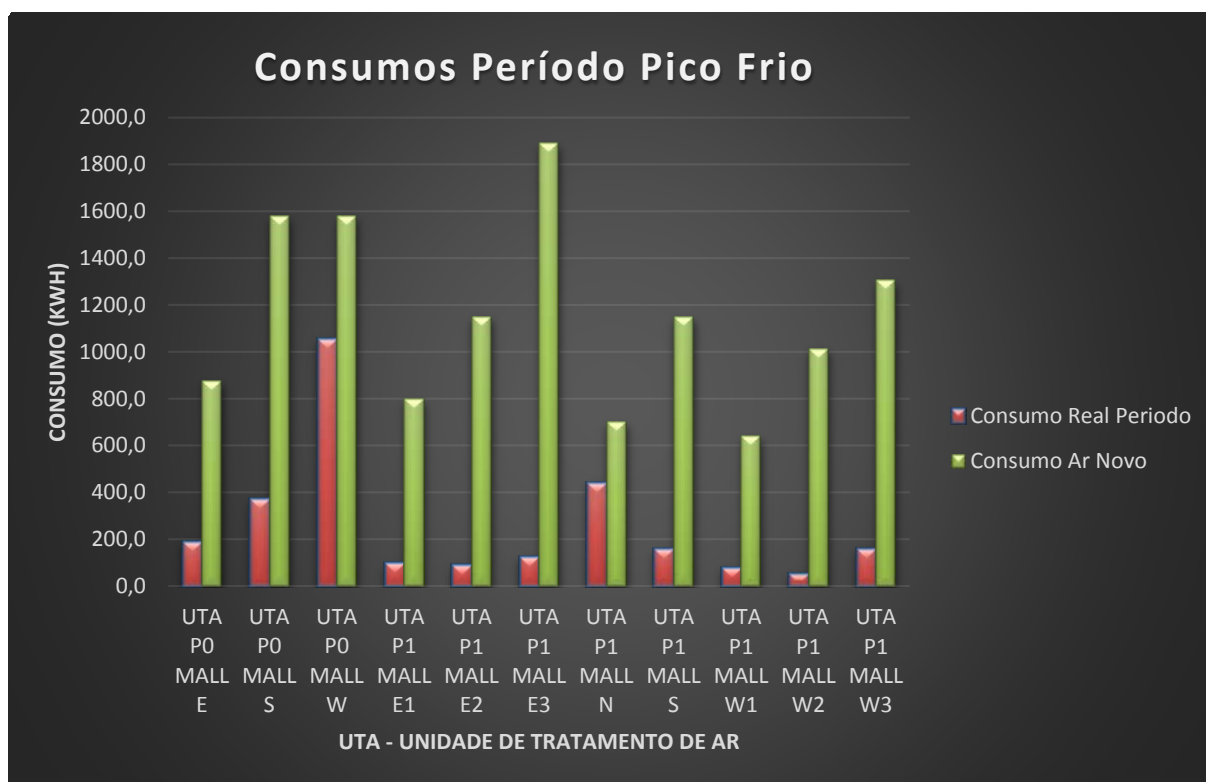


Figura 8 - Gráfico relativo aos consumos energéticos do Período Pico Frio

Tal como já aconteceu nos períodos quente e ameno, também no período frio existiu uma poupança energética significativa ao optar-se pelo controlo por CO₂.

Tendo já analisado os três períodos em questão, é possível fazer algumas comparações e discutir certos padrões.

Convém antes de começar uma análise mais detalhada deixar esclarecido que as curvas do Consumo Ar Novo são iguais nos três períodos analisados, isto porque tal como já foi dito, quando a instalação está a funcionar por injeção de ar novo os ventiladores das UTA's estão permanentemente ligados durante o horário de funcionamento do edifício de serviços de modo a cumprir os requisitos da legislação em vigor [2]. Portanto nos três períodos de funcionamento, quando a instalação funciona por injeção de ar novo, o número de horas de funcionamento dos ventiladores são as mesmas pois o horário de funcionamento do edifício é sempre o mesmo durante o ano.

Primeiramente foi possível observar que no Período Ameno e no Período Pico Quente, a curva Consumo Real Período dos ventiladores das UTA's P1 MALL E1, P1 MALL E2, P1 MALL N e P1 MALL W1 aproxima-se bastante da curva Consumo Ar Novo o que indica que os ventiladores, apesar de estarem a ser ativados pelos níveis de CO₂, funcionaram bastantes horas

dentro do horário do edifício. Isto aconteceu devido à fraca capacidade de ventilação das zonas afetadas a estas UTA's. Esta fraca capacidade de ventilação deve-se a um problema a nível arquitetónico não sendo viável a sua resolução, a não ser com o funcionamento dos ventiladores destas UTA's por um número de horas superior ao que seria de esperar (ou substituição das unidades terminais de ventilação – difusores).

De salientar que este facto não se repete no Período Pico Frio, contra o que seria expectável, onde a curva Consumo Real dos ventiladores das UTA's apenas se aproxima da curva Consumo Ar Novo nas UTA's P0 MALL W e P1 MALL N. O que seria expectável nesta situação seria o funcionamento da instalação num número de horas superior ao do período quente e ameno, isto devido à própria difusão do ar. Durante o período frio, o ar que se vai injetar na instalação vai ser ar quente, que por ser menos denso tem tendência a acumular-se junto ao teto. E assim sendo seria expectável que a instalação tivesse que funcionar mais horas de modo a fazer a completa recirculação do ar por todo o edifício de modo a baixar os níveis de CO₂. Mas depois de analisado o problema e os dados disponíveis concluiu-se que esta diferença bastante elevada de consumo, e que contraria o esperado, é devido à fraca afluência de pessoas ao edifício de serviços no período mais frio, o que acontece devido a uma série de fatores que não são alvo de análise no presente estudo. E como são os ocupantes que libertam o CO₂, se a afluência for fraca então os níveis de CO₂ vão manter-se baixos por um período mais longo.

Assim sendo existe uma poupança bastante considerável, pois havendo uma fraca afluência os ventiladores das UTA's trabalham muito pouco. O que relativamente à ventilação por injeção de ar novo constante dá origem a uma poupança elevada.

Relativamente aos Períodos Pico Quente e Ameno também se pode dizer que existe uma diminuição considerável no consumo (embora não tão acentuada como no Período Pico Frio), pois nestes dois períodos apenas os ventiladores de algumas UTA's apresentam um consumo semelhante nos dois métodos de ventilação existentes (injeção ar novo e controlo por CO₂), sendo que os restantes ventiladores apresentam consumos energéticos bastante inferiores quando a instalação funciona em controlo por CO₂.

4.4 Monitorização Contínua da Qualidade do Ar vs Benefícios Ambientais

Nos dias que correm, tal como a redução de custos e consumos energéticos, a questão ambiental também é de grande importância aquando da análise e projeção de uma instalação como a que está em estudo. Achou-se portanto interessante fazer uma comparação, em termos ambientais, dos dois métodos de controlo de uma instalação AVAC que são mencionados neste trabalho, o controlo por injeção de caudais de ar novo constantes e o controlo por níveis de CO₂.

Para cada um dos três períodos em análise neste capítulo, foram calculadas a quantidade de CO₂ emitido para atmosfera (derivado do consumo elétrico dos ventiladores) aquando do funcionamento da instalação por injeção de caudais de ar novo constantes e aquando do funcionamento desta por controlo de níveis de CO₂. Desta maneira foi possível obter um gráfico onde se pode constatar a diferença de emissões deste gás poluente que existe entre estes dois modos de funcionamento da instalação.

De modo a calcular a quantidade de poluente emitido, foi considerado-se que o fator de emissão associado ao consumo de eletricidade é de 0,47kgCO₂e/kWh [11].

Na Tabela 8 mostram-se os valores das emissões para os dois casos de funcionamento da instalação, e ainda a redução existente nas emissões aquando do funcionamento da instalação por controlo de níveis de CO₂ relativamente ao Período Ameno.

Tabela 8 – Emissões CO₂ no Período Ameno

UTA	Emissão Ar Novo (kgCO ₂ e)	Emissão Controlo CO ₂ (kgCO ₂ e)	Redução Emissões (%)
UTA P0 MALL E	412,41	105,75	74,36
UTA P0 MALL S	742,37	168,73	77,27
UTA P0 MALL W	742,37	175,08	76,42
UTA P1 MALL E1	375,77	225,60	39,96
UTA P1 MALL E2	540,74	332,76	38,46
UTA P1 MALL E3	889,01	364,72	58,97
UTA P1 MALL N	329,94	242,52	26,50
UTA P1 MALL S	540,77	254,74	52,89
UTA P1 MALL W1	302,45	217,14	28,21
UTA P1 MALL W2	476,58	147,11	69,13
UTA P1 MALL W3	614,06	377,88	38,46

Na Tabela 9, repete-se a análise de dados da tabela anterior, mas relativamente ao Período Pico Quente.

Tabela 9 - Emissões CO₂ no Período Pico Quente

UTA	Emissão Ar Novo (kgCO ₂ e)	Emissão Controlo CO ₂ (kgCO ₂ e)	Redução Emissões (%)
UTA P0 MALL E	412,41	158,10	61,67
UTA P0 MALL S	614,06	220,19	70,34
UTA P0 MALL W	412,41	444,29	40,15
UTA P1 MALL E1	614,06	349,49	6,99
UTA P1 MALL E2	412,41	492,94	8,84
UTA P1 MALL E3	614,06	311,38	64,97
UTA P1 MALL N	412,41	293,33	11,10
UTA P1 MALL S	614,06	300,15	44,49
UTA P1 MALL W1	412,41	281,44	6,95
UTA P1 MALL W2	614,06	349,30	26,71
UTA P1 MALL W3	412,41	368,57	39,98

Na Tabela 10, repete-se mais uma vez a análise anterior de dados, mas desta vez relativamente ao terceiro e último período em análise, o Período Pico Frio.

Tabela 10 - Emissões CO₂ no Período Pico Frio

UTA	Emissão Ar Novo (kgCO ₂ e)	Emissão Controlo CO ₂ (kgCO ₂ e)	Redução Emissões (%)
UTA P0 MALL E	412,41	89,05	78,41
UTA P0 MALL S	614,06	175,14	76,41
UTA P0 MALL W	412,41	495,91	33,20
UTA P1 MALL E1	614,06	45,64	87,85
UTA P1 MALL E2	412,41	41,19	92,38
UTA P1 MALL E3	614,06	58,26	93,45
UTA P1 MALL N	412,41	206,61	37,38
UTA P1 MALL S	614,06	73,47	86,41
UTA P1 MALL W1	412,41	36,73	87,85
UTA P1 MALL W2	614,06	24,49	94,86
UTA P1 MALL W3	412,41	74,58	87,85

Após esta análise de dados foi possível chegar a um gráfico onde se juntaram as curvas das Emissões Ar Novo e as Emissões Controlo CO₂ dos três períodos.

De salientar que a curva Emissão Ar Novo é a mesma para os três períodos, pois quando a instalação está a funcionar por injeção de caudais de ar novo constantes as UTA's estão a trabalhar durante o total do horário de funcionamento do edifício, que mantém o seu horário ao longo de todo o ano. Outro fato a salientar, e que as curvas de emissões são idênticas às curvas de consumo de energia elétrica de cada período, respetivamente. Isto porque todos os valores de consumo foram multiplicados pelo mesmo fator, o de emissão associado ao consumo de energia elétrica.

No Figura 10 está presente o gráfico que permite comparar as emissões de CO₂ relativas aos dois modos de funcionamento da instalação em cada um dos períodos que estão em análise.

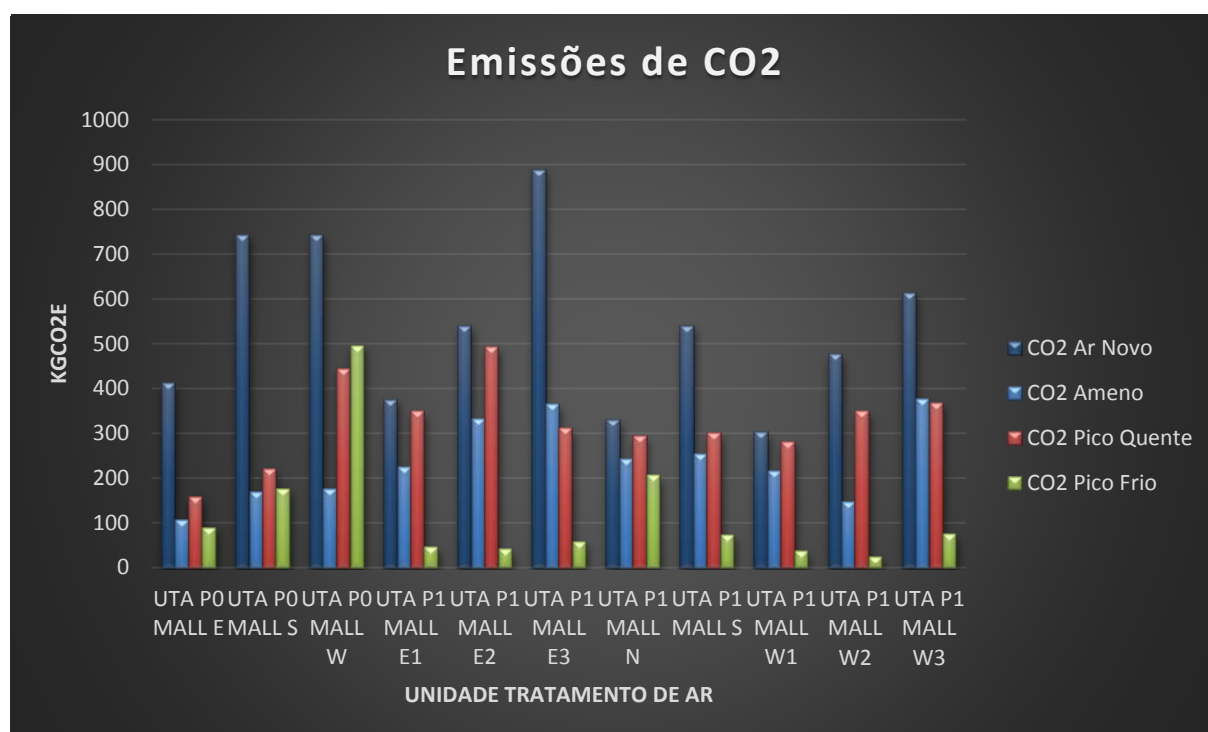


Figura 9 – Comparação de emissões de CO₂

Analisando o gráfico da Figura 10, chega-se à conclusão que tal como seria expectável, havendo uma redução dos consumos energéticos existe também uma redução das emissões de CO₂. Isto acontece em qualquer dos períodos, o que vem reforçar ainda mais as vantagens de uma monitorização da qualidade do ar por controlo de níveis de CO₂.

5 Conclusões e Perspetivas de Trabalho Futuro

A realização deste trabalho consistiu no estudo dos benefícios, a nível de consumo energético, de uma monitorização contínua da qualidade do ar interior de um edifício de serviços. Foram portanto comparados os consumos dos ventiladores das UTA's da instalação AVAC de um edifício de serviços em dois casos distintos de manutenção da qualidade do ar interior. Um dos casos foi a manutenção da qualidade do ar por injeção de ar novo (caudal constante), de acordo com os caudais previstos no decreto de lei 79/2006. O outro caso foi uma manutenção da qualidade do ar interior controlando os níveis de CO₂ de modo a estes estarem permanentemente abaixo do nível previsto na mesma legislação mencionada em cima.

Após um estudo cuidadoso de todos os dados disponíveis, que incluem horas de funcionamento dos ventiladores, consumos dos mesmos, entre outros, foi utilizado o programa Microsoft Excel para compilar toda esta informação de modo a chegar aos gráficos e às conclusões apresentadas nesta dissertação.

Em primeiro lugar foi possível concluir que, dos três casos analisados, todos apresentam no global, uma redução significativa no consumo energético dos ventiladores das UTA's quando a instalação está a funcionar por controlo de CO₂ interior. Isto porque estando a instalação a funcionar por injeção constante de ar novo, os ventiladores das UTA's necessitam de estar a funcionar durante a totalidade do horário de funcionamento do edifício de modo a injetar no interior do edifício os caudais de ar previstos. Por outro lado, se a instalação estiver a funcionar em controlo por CO₂ interior, os ventiladores só estão ativos quando os sensores detetam níveis de CO₂ desadequados. Neste caso, inclusivamente os ventiladores encontram-se a operar a 50% do regime, obtendo-se uma redução de consumo ainda mais significativa.

Foi possível também concluir-se que um grupo pequeno de ventiladores apresentava uma diminuição de consumos menos notória relativamente aos restantes, o que foi justificado por erros arquitetónicos na conceção do edifício. Isto originou áreas com fraca capacidade de ventilação o que implicou que os ventiladores das UTA's, apesar de estarem a ser controlados pelos níveis de CO₂, trabalharam durante uma grande parte do horário de funcionamento do edifício.

Relativamente aos três períodos em análise, concluiu-se que o Período Frio foi o que teve maior diminuição de consumo, estando os Períodos Ameno e Quente mais próximos entre si. A causa desta maior diminuição de consumo foi a fraca afluência a este edifício registada nos períodos em que as temperaturas são mais baixas. E se a afluência for fraca, as quantidades de CO₂ emitidas são menores, o que implica um menor número de horas de funcionamento da instalação.

Entre os Períodos Quente e Ameno, o que apresentou uma menor diminuição de consumo foi o Período Quente. A causa para esta constatação, e novamente a afluência de pessoas ao edifício. Sendo que este edifício se caracteriza por ter uma grande afluência durante a altura do ano onde está localizado o Período Quente (Verão), a instalação vai ser obrigada a funcionar durante mais horas pois a quantidade de CO₂ emitida também é superior.

Ao nível da otimização da instalação, concluiu-se ainda que se poderia ainda atenuar mais os consumos energéticos dos ventiladores, através da instalação de difusores reguláveis, de modo a poder orientar o jato de ar consoante a período em análise. No caso dos períodos mais quentes o jato de ar seria orientado horizontalmente de modo a difundir o ar pelo espaço verdadeiramente ocupados pois o ar mais frio sendo mais denso tem tendência a acumular-se junto ao solo. E nos períodos mais frios o ar seria orientado verticalmente, pois o ar quente sendo menos denso tem tendência a acumular-se junto ao teto. Em qualquer um dos dois casos, o objetivo seria obter uma eficácia de ventilação superior de modo a minimizar o tempo de funcionamento da instalação.

A nível ambiental, como era expectável, ao reduzir os consumos energéticos houve uma redução das emissões de CO₂ em igual percentagem. Pode portanto concluir-se que o campo ambiental, é mais uma vantagem a favor da monitorização contínua da qualidade do ar interior por controlo de níveis de CO₂.

Depois de analisados os resultados, pode concluir-se que a legislação que rege a qualidade de ar interior, não está adequada à realidade operacional deste imóvel. Isto porque, e falando da instalação em questão, apesar de esta estar a funcionar por controlo de CO₂ teve que ser projetada tendo em conta o cumprimento da legislação em vigor á altura. Isto implica que toda a instalação tem que estar preparada para debitar os caudais de ar novo mínimos previstos na lei, quando em termos práticos se a instalação estiver a funcionar por controlo de CO₂ esta não exige uma instalação tão poderosa. Assim sendo, ao projetar a instalação de acordo com a legislação, esta vai ficar sobredimensionada o que origina gastos substancialmente superiores logo na fase inicial do projeto, bem como de exploração do edifício.

Existe portanto uma discrepância na lei, por não interligar diretamente a injeção de ar novo constante com a concentração máxima de CO₂ dentro de um edifício. À luz da lei, deveria ser considerado a possibilidade de poder ser projetada uma instalação AVAC para um edifício tendo por base um controlo de qualidade do ar interior por controlo de níveis de CO₂ interiores. Tal como já foi dito em cima, isto poderia diminuir significativamente os custos do projeto e também evitar a existência de instalações sobredimensionadas e desadequadas relativamente à realidade do edifício.

Como perspetivas para um trabalho futuro, sugeria uma nova análise do estudo efetuado neste trabalho levando em conta o novo decreto de lei 118/2013 que quando foi publicado em Diário da República já este estudo seguia em fase avançada, não permitindo assim uma reformulação total dentro dos prazos previstos.

6 Referências e Bibliografia

- [1] – WBCSD; “Eficiência Energética em Edifícios”, Relatório Síntese
- [2] – Diário da República; “Decreto de Lei 79/2006 de 4 de Maio”, 2006
- [3] – Air Test; “CO₂ Control reduces Costs for Outside Air Ventilation in Buildings”
- [4] – Lawrence, Tom; “Demand-Controlled Ventilation and Sustainability”; ASHRAE Journal, 2004
- [5] – Schell, Mike; Inthout, Dan; “Demand Control Ventilation Using CO₂”; ASHRAE Journal, 2001
- [6] – Washington State University Energy Program; “Measuring Carbon Dioxide Inside Buildings – Why is it Important?”; 2013
- [7] – SCE; “Nota Técnica 02”
- [8] – Compilação Técnica - v0.1; Memória descritiva e justificativa relativa a Sistema AVAC Instalado
- [9] – UNI-TREND Technologies; “Model UT207/208: Operating Manual” , 2007
- [10] – TAC; “SCR100 Carbon dioxide Transmitter 0–10 V and Temperature Sensor NTC 1.8/10 kohm”, 2007
- [11] – Professor Carlos Tavares de Pinho, “Gestão de Energia Térmica – Sebenta Teórico-Prática”, 2011

ANEXO A: Sensor CO₂ TAC SCR100

Field Devices



SCR100

Carbon dioxide Transmitter 0–10 V and Temperature Sensor NTC 1.8/10 kohm

SCR100 is an infrared and maintenance-free carbon dioxide transmitter for installation on indoor walls.

SCR100 measures the carbon dioxide concentration in the ambient air, up to 2 000 ppm, and transforms the data into a 0–10 V or 0–5 V output signal.

SCR100 is also equipped with passive temperature elements selectable 1.8 kohm for TAC Vista® products, 10 kohm for I/NET® products and 10 kohm for Continuum® products.

SCR100 helps you save money by decreasing the energy consumption, while creating a healthier indoor climate.

TECHNICAL DATA

Part number:
SCR100 0-046-3000-0

Carbon dioxide Sensor

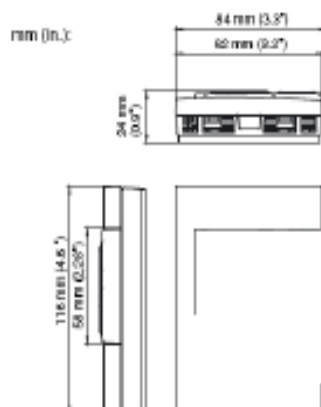
Response Time <3 min
Operation non-dispersive, infrared (NDIR)
Sampling diffusion
Range 0 – 2000 ppm
Accuracy
... ± 1% of measurement range ± 5% of measured value
Annual drift ±10 ppm (nominal)
CO₂ Pressure dependence
1.8% change in reading per 1 kPa deviation from 100 kPa

Temperature Sensor

Operating 0 – 50 °C (32 – 122 °F)
Storage -40 – +70 °C (-40 – 158 °F)
Operating humidity range 0 – 95% RH (non-condensing)
Output signal 0 – 10 V or 0 – 5 V
Load > 5000 ohm
Temperature Sensor element for
– TAC Vista® NTC 1.8 kohm at +25 °C (77 °F)
Accuracy ¹⁾ ±0.8 °C at 25 °C (±1.4 °F at 77 °F)
– I/NET® NTC 10 kohm at +25 °C (77 °F)
Accuracy ¹⁾ ±0.8 °C at 25 °C (±1.4 °F at 77 °F)
– Continuum® NTC 10 kohm at +25 °C (77 °F)
Accuracy ¹⁾ ±0.8 °C at 25 °C (±1.4 °F at 77 °F)

¹⁾ If higher accuracy is required, use a separate temperature sensor STR.

Power Supply 24 Vac ±20 %, 50/60 Hz (Class 2)
Peak power consumption, first 25 ms 5 W
Average power consumption < 1 W
Materials:
Enclosure plastic
Enclosure rating IP 20 / NEMA1
Dimensions according to figure
Weight 85 g (0.187 lb.)
Standards:
EMC EN 50081-1, EN 50082-1



FUNCTION

The SCR100 sensor measures the carbon dioxide concentration and the temperature.

The CO₂ output signal can be either 0 – 10 V or 0 – 5 V, selected by wiring.

The temperature signal can be selected for any of

- + TAC Vista® products, NTC 1.8 kohm
- + INET® products, NTC 10 kohm
- + Continuum® products, NTC 10 kohm

Please refer to Wiring below.

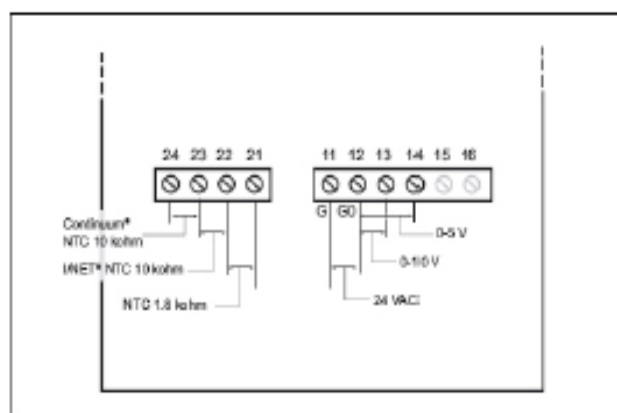
Gold-plated sensors provide long-term calibration stability. Additionally, automatic background calibration based on long-term evaluation makes the sensor maintenance-free.

The sensor is calibrated from the factory.

INSTALLATION

Make sure there is no air leakage from the conduit.

WIRING



Trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners.
TAC Vista®, TAC Mont®, TAC Xenta® and TAC Ixale® are registered trademarks of TAC AB.

www.tac.com

Copyright © 2007, TAC.
All brand names, trademarks and registered trademarks are the property of their respective owners. Information contained within this document is subject to change without notice. All rights reserved.

PRINT NUMBER 03-00227-01-en



Europe / Headquarters
Malmö, Sweden
+46 40 318 68 50

Americas
Dallas, TX
+1 972-323-1111

Asia-Pacific
Sydney, Australia
+61 (0) 2 8336 6100
www.tac.com



ANEXO B: Declaração de Aferição dos Sensores de CO₂ TAC SCR100



DECLARAÇÃO

Para os devidos efeitos, eu, Nuno Alexandre Dias Justo Pimentel Parreira, Técnico Responsável pelo Funcionamento (TRF) do Edifício XXXXXXXXXX ao abrigo do Sistema Nacional de Certificação Energética e de Qualidade de Ar Interior, declaro que:

1. Anualmente é realizada a tarefa de verificação local do grau de incerteza e erro associado a todos os sensores de CO2 presentes na instalação de AVAC;
2. Mensalmente é analisado o histórico de registos associado a estes equipamentos de campo, sendo verificado e testado qualquer um dos sensores que apresente valores considerados atípicos face ao registo médio dos últimos três anos.

Porto, 30 de Novembro de 2013

Nuno Parreira
(Perito Qualificado nº 00200)